3D mapping of the Wolf-Rayet nebula M 1-67: clues for post-common envelope evolution in massive stars

S. Zavala [1] et al. [1] Tecnológico Nacional de México

Abstract

・WR124周辺のWolf-Rayet nebula M1-67のロングスリット3Dマッピング。
・3次元モデリングツールAstrophysics SHAPEにより、M1-67の形態と運動学的特徴を明らかに。
・最もよく再現する形状モデルは中空の楕円体とトーラスからなる3つの同心円状の双極子構造。
・特定のスペクトルの特徴を再現するために、膨張するジェットとblisterの存在が必要。
・形成されたのは11.8+4.6/-0.8 kyr年前。
・スペクトルから得られる構造は恒星風の圧縮によって生じた領域からの放射。

Observation

・WR124 : WN8h
・Manchester Echelle Spectrograph (MES) w/ San Pedro Mártir (SPM) 2.1m
・Ha, [N II] 6584, [N II] 5755, [S II] 6717+6731, He II 4686
・slit width of 150um (~2 arcsec) = velocity resolution of 12 km/s

Results

・PV diagrams of the Ha and [NII] 6584 (@fig.2)
・中心部に空洞 (@fig.2)
・G, H, Iの後退速度成分 (右側) は、blue成分よりも明るい (Solf & Carsenty 1982)
・Hスリットで得られたスペクトルに対してガウスフィットでWR124の固有運動
→Ha:170.5±10 km/s、[NII]:169.5±8 km/s、[SII]:178±5 km/s
・中心部分 (H) の平均膨張速度 : 46.3±3.0km/s
・F~Jの速度平均 : 44±13 km/s
・[SII] → 46±3km/s (=他の輝線から得られた膨張速度と一致)
・[SII] 6717と6731 → 電子密度neマップ、、、、がS/Nが足りず。。

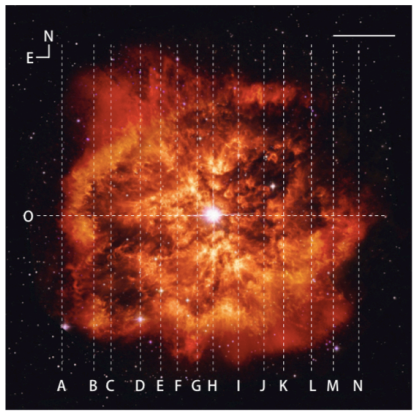


Figure 1. *HST* image of M1 67 around WR 124. The dotted lines represent the positions of the SPM-MES slits. Note that the H and O slits crosses the central star at PA=0° and PA=90° respectively. The horizontal white bar at the top right corner represents 20″.

Table 1. Details of the SPM-MES observations of M 1-67. The offsets are denoted with respect to the position of the central star WR 124.

Slits	Offset (″)	Filter	PA (°)	Date	Exp. Time (s)
A	−53.6	Hα+[N II]	0	2018 May 6	600
B	−41.1	Hα+[N II]	0	2018 May 6	600
C	−34.4	Hα+[N II]	0	2018 May 6	600
D	−26.8	Hα+[N II]	0	2018 May 6	600
E	−18.0	Hα+[N II]	0	2018 May 6	600
F	−11.3	Hα+[N II]	0	2018 May 6	600
G	−5.1	Hα+[N II]	0	2018 May 6	600
H	0.0	Hα+[N II]	0	2018 May 6	600
H	0.0	[S II]	0	2019 May 27	600
H	0.0	[O III]	0	2019 May 27	1800
I	9.4	Hα+[N II]	0	2018 July 22	600
J	16.5	Hα+[N II]	0	2018 July 22	600
K	23.8	Hα+[N II]	0	2018 July 22	600
L	32.1	Hα+[N II]	0	2018 July 22	600
M	41.1	Hα+[N II]	0	2018 July 22	600
N	49.6	Hα+[N II]	0	2018 July 22	600
O	0.0	[S II]	90	2018 July 22	600

Fig.2

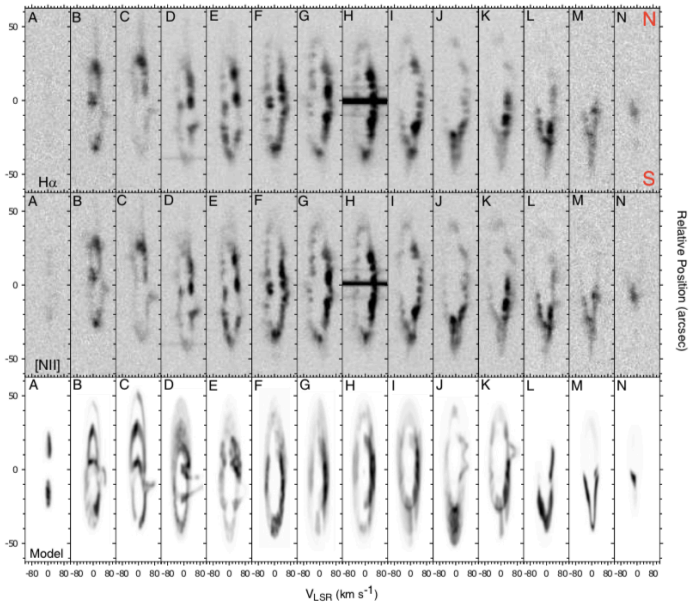
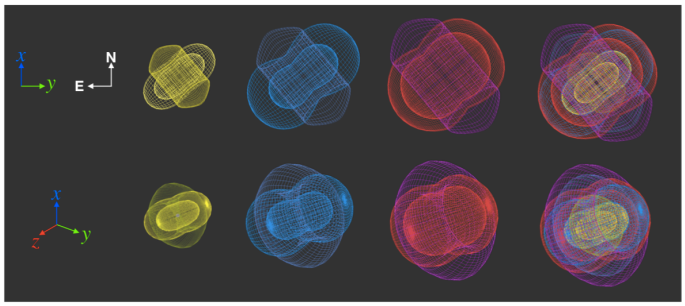


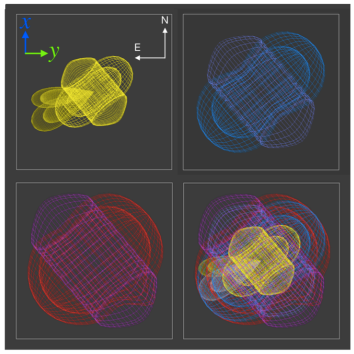
Fig.3



Morpho-Kinematic Model

・3Dモデリングツール「SHAPE」→形態運動学的構造
・PV図 (膨張速度パターン) ←→ 幾何学的構造 (モデル)
・トーラスとバイポーラ構造によって構成される3つの同心円構造
・パラメータを微調整して細かな構造の再現を頑張る
→最適形状 (fig.4) と最適パラメータ (fig.5)

Fig.4



Discussion

・ダストサイズ (Jiménez-Hernández+2020) by Cloudy
: 0.9um=結構デカい。
・Initial mass ~ 40 M⊙ (Jiménez-Hernández+2020)
・質量放出率 > 10^{-3} M⊙/yrのときに形成 (大質量星周り。Kochanek2011)
・LBVまでは進化しない (多分)。
・形成シナリオ
: 大質量星周りに水素エンベロープ
→WR段階に進化
→恒星風 ((未知の) 伴星との相互作用) でバイポーラ構造を形成。
=11.8kyr
: PV図で見られる密度構造からバウショックは必要ない。

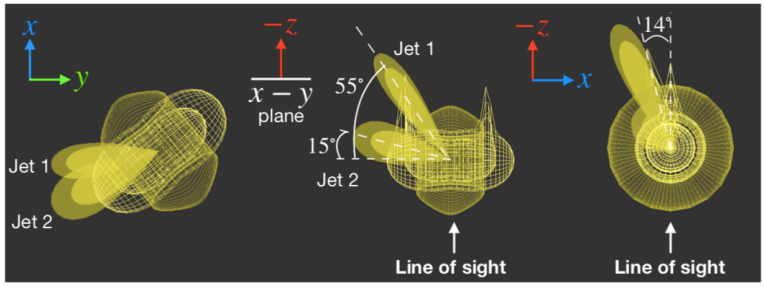



Fig.5